

6. **Чумаков В.П., Коренко М.Г., Староста Н.В.** Исследование формоизменения торцов блюмов при прокатке на заготовочных станах / Вестник национального технического университета «ХПИ» №33, 2009, Харьков.

7. **Чумаков В.П., Коренко М.Г.** Пути снижения расхода металла при прокатке на блюминге. *Металлургическая и горнорудная промышленность* №2, 2009.- С.39-42.

8. **Чумаков В.П., Коренко М.Г.** Увеличение выхода годного при прокатке на блюминге / - «Сталь». - №3, 2012. - С.30-34.

9. Патент України №58879, Безперервнолитий злиток./ **Чумаков В.П.** Бюлетень №8, 26.04. 2011.

Рукопис подано до редакції 26.03.13

УДК 662.641

А.Д. УЧИТЕЛЬ, д-р. техн. наук проф., М.В. КОРМЕР, доцент, канд. хим. наук, доцент,

В.П. ЛЯЛЮК, д-р. техн. наук, проф., И.А. ЛЯХОВА, канд. техн. наук доцент

Е.О. ШМЕЛЬЦЕР, ст. преподаватель, Ю.И. ВИТИТНЕВ, ст. преподаватель

КМИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ БОРЬБЫ СО СМЕРЗАЕМОСТЬЮ УГЛЯ ПРИ ЕГО ПЕРЕВОЗКАХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

В холодный период времени года проблема неритмичности поставки на коксохимические предприятия угольных концентратов усугубляется необходимостью отогрева вагонов с углем. Самым неэффективным и затратным является способ размораживания вагонов в гаражах (тепляках). Обработка угольных концентратов химическими добавками надежно предотвращает их смерзаемость в зимний период времени при доставке от поставщиков к потребителям.

Проблема и ее связь с практическими задачами. К смерзающимся грузам относятся перевозимые насыпью грузы, которые при температурах наружного воздуха ниже 0 °С теряют свои обычные свойства сыпучести вследствие смерзания частиц груза между собой и примерзания их к полу и стенкам кузова вагона. При дальних перевозках грузов в условиях низких температур окружающего воздуха, меняющихся климатических и метеорологических условий (особенно в переходные периоды года) грузополучатели оснащают свои пункты выгрузки смерзающихся грузов средствами разогрева или механического рыхления для восстановления сыпучести этих грузов. Для разогрева смерзшихся грузов используются тепляки и другие обогревательные устройства (например, инфракрасные излучатели). Для механического рыхления таких грузов применяются бурофрезерные установки, самоходные виброударные установки, виброрыхлители различных типов, установки экскаваторного типа.

Анализ исследований и публикации. К постоянным проблемам, с которыми приходится сталкиваться коксохимическим предприятиям [1-3] в процессе выполнения производственных задач с наступлением холодного периода времени года, добавляется проблема разгрузки вагонов с углем из-за смерзаемости угольных концентратов при их транспортировке.

Явление смерзаемости углей и примерзания их к стенкам вагонов возможно не только в условиях суровых зим севера и востока России и Казахстана, откуда, например, поступают угольные концентраты на коксохимическое производство (КХП) ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (АМКР), но и в относительно мягком климате Украины. В последнее время, несмотря на тенденции к глобальному потеплению, температура воздуха в зимний период снижается до минус 20 °С и ниже, что усугубляет проблему неритмичности поставок угольных концентратов на коксохимические предприятия из-за увеличения времени на сортировку по маркам угольных концентратов перед подачей вагонов в тепляки, на их отогрев и разгрузку, когда глубина промерзания углей в вагонах достигает от 0,25-0,3 до 0,6-1,0 м.

Промерзание угля представляет собой сложный теплофизический процесс. Однако главная причина смерзания - это все же влажность груза [4].

Воду в насыпных грузах в зависимости от характера ее связи с твердыми частицами материала, агрегатного состояния и подвижности подразделяют на свободную и связанную [5]. Свободная влага, по своим свойствам не отличается от обычной воды и замерзает при температуре около 0 °С, а испаряется с такой же скоростью, как и чистая жидкость [6]. Связанная влага не замерзает при температурах до минус 50-70 °С. Содержание свободной влаги увеличивается с повышением дисперсности груза, что способствует усилению примерзания и смерзания угля.

Увеличение зольности углей ускоряет их примерзание и смерзание при перевозках и хранении [6]. Безопасная в отношении смерзания влажность имеет наибольшее значение для малометаморфизированных углей. Это объясняется различием пористой структуры на поверхности частиц углей различных стадий метаморфизма, определяющих полное внутреннее влагосодержание, фазовым состоянием воды на поверхности частиц и прочностью образовавшегося льда [7]. При влажности угля, равной или меньшей безопасной, смерзание частиц не происходит, и он сохраняет сыпучесть при отрицательной температуре [6].

Постановка задачи. Анализ факторов, влияющих на смерзание углей, изучение процессов тепло- и массопереноса и интенсивности промерзания углей в процессе транспортировки, лежит в основе разработки методов борьбы со смерзаемостью. Среди многочисленных методов профилактики и борьбы со смерзаемостью применение различных профилактических средств является наиболее эффективным. Уголь, обработанный профилактическим средством, может быть загружен в вагон без особых усилий. Если уголь не будет смерзаться и примерзать к стенкам и днищам вагонов, освободиться до 20 % объема вагона, уменьшатся затраты на его перевозку. В связи с этим разработка новых составов профилактических средств с улучшенными эксплуатационными и экологическими свойствами является актуальной проблемой.

Результаты исследования. В настоящее время все меры предотвращения смерзания углей можно разделить на две группы [8]: профилактика смерзания и восстановление сыпучести смерзшихся углей перед выгрузкой или в процессе выгрузки.

К первой группе мероприятий относятся: обезвоживание и сушка угля, перемешивание влажных углей с сухими, перемораживание углей, а также покрытие углей и стенок вагонов гидрофобными профилактическими средствами.

Применение гидрофобных профилактических средств следует считать одним из эффективных и экономичных способов борьбы со смерзанием. В качестве профилактических средств используют: хлористый кальций; оксид кальция; хлористый магний, который можно использовать как в твердом виде, так и в виде раствора (“бишофит”); минеральные и каменноугольные масла и другие реагенты органического происхождения (“ниогрин” и “северин”).

При перевозках на короткие расстояния груз не успевает промерзнуть на достаточную глубину, поэтому можно ограничиться профилактикой только примерзания угля к стенкам вагонов. Но, если груз следует на дальние расстояния, то кроме обработки стенок и днищ вагонов необходимо нанесение гидрофобных пленок на все куски угля, то есть требуется тщательное перемешивание угля с профилактическим средством перед его погрузкой. Ко второй группе мероприятий относятся: тепловое воздействие путем разогрева вагонов в специальных гаражах (тепляках) и механическое воздействие с помощью бурорыхлительных машин.

Целесообразность и область применения тех или иных способов и средств восстановления сыпучести устанавливается, в основном, стоимостью и условиями безопасности. Стоимость восстановления сыпучести угольных концентратов с использованием тепляков, бурильных установок и другими средствами в десятки раз выше стоимости профилактических мероприятий по предупреждению примерзания угля к поверхности вагонов и смерзания частиц угля между собой.

В ходе исследований в лабораторных условиях для предотвращения смерзаемости проб угольных концентратов, отобранных в углеподготовительном цехе КХП АМКР, в качестве профилактической добавки, в первую очередь, испытывали негашеную известь. Реакция интенсивного поглощения воды углем оксидом кальция сопровождается выделением значительного количества тепла (578 кДж/кг СаО). Для полного поглощения влаги на каждый 1 кг воды должно быть подано 2,1 кг СаО, при этом эффективность смешивания СаО с углем должна быть не ниже 96 %. Первичная влага поглощается известью полностью, а адсорбированная замерзает при температуре около минус 20 °С. Однако, использование негашеной извести требует тщательно закрытого склада, оснащенного механизмом для измельчения, дозировки и смешивания угля с известью. Следует также помнить, что известь токсична, и требует соблюдения строгих правил техники безопасности.

В ходе исследования было установлено, что использование СаО целесообразно при его активности не менее 85-88 % и температуре окружающей среды не ниже минус 15-16 °С. При более низких температурах применение негашеной извести даже в количестве 3-6 % от веса угля не предохраняет его от смерзания и не обеспечивает свободной выгрузки груза. Негашеная из-

вень является лишь вспомогательным средством и может применяться для механической прослойки между слоями угля.

Следующие исследования провели с растворами хлорида кальция и хлорида магния. Оптимальное количество добавляемого в уголь раствора хлорида кальция составляет 1,5-2,0 %/т угля при влажности угля до 12 %. Примерно 30 % всего количества раствора рекомендуется замешивать с нижними слоями угля, которые промерзают сильнее, а остальную часть раствора следует распределить равномерно в оставшейся массе угля. Данные лабораторных исследований по применению хлорида кальция приведены на рис. 1.

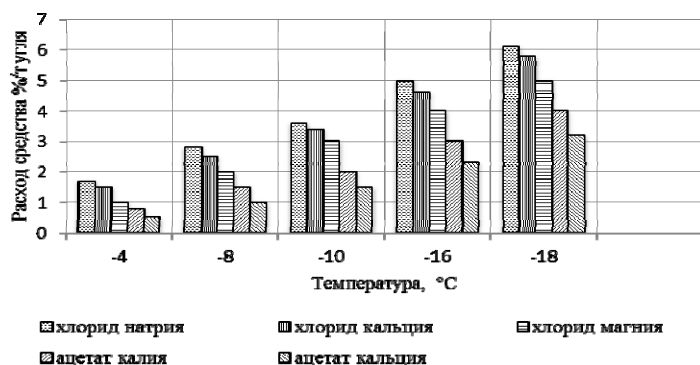


Рис. 1. Нормы расхода хлорида кальция для профилактики смерзания угля при его влажности: О – 3 %, □ – 6 %, Δ – 9 %

Ограничения на использование хлорида кальция накладываются, прежде всего в том случае, если обрабатываемый материал подвергается высокотемпературной обработке. При температурах >900 °C добавленный в уголь хлорид кальция начинает разлагаться с выделением хлора. Особенно

интенсивно идет разложение в присутствии оксидов кремния и алюминия, которые выступают как катализаторы процесса. Наличие свободного хлора и раскаленного кокса может привести к образованию токсичного диоксина. Недостатками хлорида кальция являются также его высокая стоимость и коррозионная активность.

Вышеперечисленные недостатки отсутствуют у хлорида магния, который является основной составляющей природного “бишофита”. Его добывают из недр Земли, в том числе и в Украине (Полтавское, Черниговское месторождение). Это безопасный раствор, имеющий целебные свойства. Он, в отличие от хлорида кальция, не только не вызывает коррозию, но и способствует уменьшению ее скорости. Количество добавляемого “бишофита” при лабораторных исследованиях изменяли от 1 до 5 % от массы угля. Использовали угольный концентрат фракции 0-3 мм с влажностью 12 %. Результаты опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Температура смерзания угля обработанного “бишофитом”

Расход “бишофита”, %	Расчетная температура замерзания раствора “бишофита”, °C	Температура смерзания угля, обработанного “бишофитом”, °C
1,0	-7,3	-4
2,0	-11,6	-8
3,0	-14,6	-10
4,0	-16,3	-16
5,0	-19,3	-18

Из приведенных данных следует, что добавка 4-5 % “бишофита” уменьшает температуру смерзания частиц угля до минус 16-18 °C, а так как температура воздуха в Украине в зимний период редко достигает минус 20 °C, то при транспортировке от украинских поставщиков угля к потребителям в пределах страны наиболее целесообразна добавка “бишофита” в количестве 2,5-3 %, при этом эффективность смешивания “бишофита” с углем также должна быть не ниже 96-98 %. Добавка бишофита к углю, как показал опыт, не изменяет насыпную плотность угля и незначительно увеличивает индекс основности до 0,5 %.

Использование хлорида магния имеет преимущество перед хлоридом кальция еще и потому, что разложение его при высоких температурах идет без выделения свободного хлора.

Исследованиями показано, что обрабатывать водным раствором “бишофита” целесообразно уголь с небольшой влажностью, так как добавка “бишофита” приводит к увеличению влажности угля. Предельная влажность обработанного угля не должна превышать 11-12 %. При соблюдении этих условий уголь не будет смерзаться до температуры минус 16-18 °C.

Анализ результатов использования профилактических добавок понижающих температуру смерзания показал, что если хлорид натрия активно действует при температурах до минус 10 °С, хлорид кальция до минус 10-16 °С, то хлорид магния можно использовать до минус 16-18 °С.

В настоящее время нами проводятся исследования профилактических добавок на основе солей уксусной кислоты – ацетатов натрия, калия, кальция, магния. В литературе имеются сведения о применении этих веществ и смесей на их основе для борьбы с гололедом. Они не вызывают коррозии металлических поверхностей, их можно использовать в значительно меньших количествах [9]. Лабораторными исследованиями установлено, что для обработки одного и того же количества угля их необходимо меньше, чем препаратов на основе хлоридов.

Нормы расхода профилактических средств приведены на рис. 2.

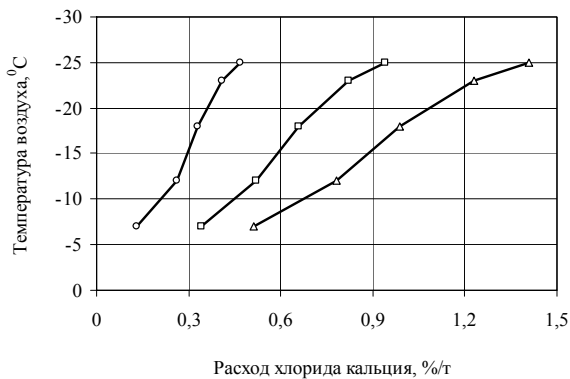


Рис. 2. Нормы расхода профилактических средств

Однако успешное использование добавок на основе солей уксусной кислоты также зависит от эффективности их смешивания с углем, которая должна быть не ниже 96-98 %.

На коксохимических предприятиях в разное время применяли тарельчатые, лопастные, бичевые, барабанные, шнековые и дезинтеграторные машины для смешивания шихты. Нами предложена конструкция смесителя роторного типа, предназначенного для окончательного смешивания угольной шихты с любыми про-

филактическими средствами. Роторный смеситель (рис. 3) устанавливается над ленточным конвейером так, что его роторы вписываются в поперечное сечение, образованное желобчатой лентой конвейера, с зазором между плоскостью ленты и лопастями роторов.

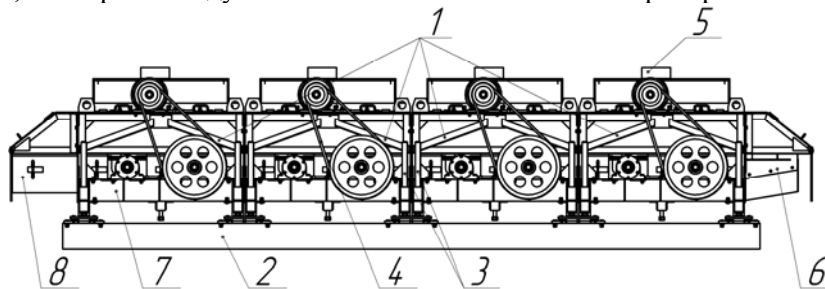


Рис. 3. Смеситель роторный 4-х секционный: 1 - секции смесителя, 2 - опора, 3 - регулировочные винты, 4 - клиноременная передача, 5 - электродвигатель, 6, 8 - козырьки с отбойниками, 7 - уплотнитель

При перемещении угольной шихты по ленте она подвергается действию лопастей роторов и перемешивается с профилактическими средствами.

Ротор является смешивающим органом смесителя. В одной секции смесителя размещены 2 вида роторов: один – с лопастями из конвейерной ленты, другой - с лопастями из тросов. Роторы вращаются в одну сторону по ходу движения угольной шихты.

Результаты испытаний работы смесителя при смешивании угольного концентрата с известью обеспечили увеличение степени однородности по содержанию CaO с 19 % после дробилки до 98 % после смесителя.

Смеситель предложенной конструкции может обеспечить высокую степень смешивания угольной шихты не только по всем показателям технического анализа шихты (насыпной массе, ее гранулометрическому составу и петрографическим показателям) [1], что отразится на повышении качества кокса в условиях ухудшения сырьевой базы коксования и неритмичности поставки угольных концентратов на коксохимические предприятия, но также обеспечит несмерзаемость угля при его обработке профилактическими добавками у поставщиков угля, во время его транспортировке при отрицательных температурах и на любые расстояния.

Выводы. Обработка угольных концентратов химическими добавками может надежно предотвращать их смерзаемость в зимний период времени при доставке от поставщиков к потреби-

телям. Уголь будет легко разгружаться без больших затрат энергии на отопление вагонов в гаражах-теплицах. Некоторое повышение себестоимости угля за счет дополнительных операций обработки его химическими добавками у поставщиков перекроется снижением затрат на обогрев вагонов у потребителей угля. При этом уголь не надо будет дробить тяжелыми машинами, что обычно приводит к его переизмельчению и дополнительному “отощению”, особенно ценных марок угля, что резко сказывается на качестве кокса. Одной из важнейших задач, отвечающих за эффективность технологии обработки угольных концентратов профилактическими добавками, является обеспечение эффективности смешивания угольной шихты с добавками на уровне не ниже 96-98 %.

Список литературы

1. **Качество подготовки шихты для коксования** / В.П. Лялюк, А.Д. Учитель, И.А. Ляхова и др. // **Кокс и химия**. – 2011. – №8. – С. 2-19.
2. Стабильность качества кокса для доменной плавки / **В.П. Лялюк, В.П. Соколова, И.А. Ляхова** и др. // **Кокс и химия**. – 2012. – № 8. – С. 19-24.
3. Влияние влажности угольной шихты на качество кокса / **В.П. Лялюк, А.Д. Учитель, И.А. Ляхова** и др. // **Кокс и химия**. – 2012. – № 9. – С. 2-8.
4. **Матасов С.Ф., Куртунов Л.М., Хорунжий А.С.** Борьба со смерзаемостью при перевозке по железным дорогам. – М.: Металлургия, 1974. – 248 с.
5. **Лепнев М.И., Северинов Э.П.** Грузы и мороз. – М.: Транспорт, 1988. – 143 с.
6. **Михайлов Н.М., Шарков А.Т.** Физические свойства топлива и борьба с затруднениями на топливоподаче электростанций. – М.: Энергия, 1974. – 264 с.
8. **Кожевников Н.Н., Попов В.И.** Прогнозирование процессов промерзания в сыпучих материалах при железнодорожных перевозках. – Новосибирск: Наука, 1978. –104 с.
9. Патент России №2251603. Способ предотвращения смерзаемости дорожного покрытия // **М.В. Ачкеева, В.П. Данилов, И.В. Морозов** и др. – 2004.

Рукопись поступила в редакцию 26.02.13

УДК 669.162.16

В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф.,
И.А. ЛЯХОВА, Д.А. КАССИМ, кандидаты техн. наук, доц.,
КМИ ГВУЗ “Криворожский национальный университет”
А.К. ТАРАКАНОВ, д-р техн. наук, проф.,
Национальная металлургическая академия Украины
П.И. ОТОРВИН канд. техн. наук, ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог”

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕРЕАКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ КОКСА НА ЕГО УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ

В доменной плавке на сегодня самыми эффективными являются технология вдувания ПУТ и широко опробованная на комбинате “Криворожсталь” технология загрузки в доменные печи кускового антрацита. Реализация этих технологий требует значительного улучшения качества кокса.

В настоящее время внедрение таких высокоэффективных технологий, как вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи в количестве 150-200 кг/т чугуна или технологии использования кускового антрацита в количестве до 70-90 кг/т чугуна с коэффициентом замены кокса 0,8-1,0 кг/кг, относятся к важнейшим направлениям повышения конкурентоспособности металлургических предприятий и успешного их функционирования на внутреннем и внешнем рынках [1,2]. При этом следует подчеркнуть, что вторая технология обеспечивает значительный экономический эффект за счет снижения расхода кокса и себестоимости чугуна при полном отсутствии дополнительных капитальных вложений, как этого требует внедрение технологии вдувания ПУТ. Однако обе эти технологии требуют, прежде всего, опережающего повышения качества кокса.

По данным 9-ти месяцев 2012 г., высококачественный кокс с показателями: CSR 56,71-60,31 %, CRI 30,59-32,48 %, M₂₅ 90,3-92,1 %, M₁₀ 3,9-4,3 %, отвечающий требованиям технологии вдувания ПУТ, производили в цехе №3 ПАО “Алчевсккокс” на батарее №10-бис., где при использовании качественных угольных концентратов совмещены технологии трамбования шихты и сухого тушения кокса. Этот кокс, а также кокс с батареи №9-бис., где показатели ка-